

ANALISIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH HARJOSARI KABUPATEN SEMARANG MENGGUNAKAN METODE GEOMAGNET DENGAN PEMODELAN 2D DAN 3D

Mars Widodo¹⁾, Tony Yulianto¹⁾, Udi Harmoko¹⁾, Gatot Yulianto¹⁾, Sugeng Widada²⁾, Yusuf Dewantoro³⁾

¹⁾ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

³⁾ Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

E-mail: marswidodo@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research of analysis subsurface structure in Harjosari Semarang district using geomagnet methods with 2D and 3D modelling. In this study, magnetic data acquisition was carried out in 93 points by using a PPM (Proton Precession Magnetometer) geometrics type of GSM 19T and 2 units geotron magnetometer G5 models to get the values of the total magnetic field. The result of measurement data is processed by the daily variation correction and IGRF correction (International Geomagnetic Reference Field). The corrected data has been used to create total magnetic anomaly contour. The total magnetic anomaly contour has been used to process reduction to plan surface. The result of reduction to plan surface has been used to create a contour upward continuation and then made reduction to the poles. The result of research showed the total magnetic anomaly closure pair of positive and negative indicated a fault zone below the surface. Result of research an incision on the closure pair of positive and negative to determine the subsurface structure of the region by creating a model of 2-dimensional (2D) using software Mag2DC. In 2D modeling result shows that was a fault zone below the surface about 210 to 1000 meters depth. The existence of the fault structure below the surface was estimated as a result of rock shifting from the northeastern area of research. Result of a 3-dimensional (3D) modelling using UBCMag3D software to determine subsurface structures more clearly by including error values, parameter values susceptibility and density models. On the results of the 3D display of subsurface structures found any difference in stark contrast to the susceptibility value at a depth of 225 meters to 1200 meters. The susceptibility value differences suspected presence of fault structures below the surface.

Keywords : Anomaly, total magnetic anomaly, fault, 2D, 3D, susceptibility

ABSTRAK

Dilakukan penelitian analisis struktur bawah permukaan daerah Harjosari Kabupaten Semarang menggunakan metode geomagnet dengan pemodelan 2D dan 3D. Pada penelitian ini, titik pengukuran berjumlah 93 titik menggunakan satu buah *Proton Precession Magnetometer* (PPM) tipe *geometrics* model GSM 19T dan 2 unit Geotron Magnetometer model G5 untuk mendapatkan nilai medan magnet total. Data hasil pengukuran kemudian diolah dengan melakukan koreksi variasi harian dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Data yang telah dikoreksi digunakan untuk membuat kontur anomali medan magnet total. Kontur anomali medan magnet total digunakan untuk proses reduksi bidang datar. Hasil reduksi bidang datar digunakan untuk proses pengangkatan ke atas, kemudian dilakukan reduksi ke kutub. Hasil penelitian berupa anomali medan magnet total yang menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya zona sesar di bawah permukaan. Dilakukan sayatan pada pasangan klosur positif dan klosur negatif untuk mengetahui struktur bawah permukaan daerah tersebut dengan membuat model 2 dimensi (2D) menggunakan perangkat lunak *Mag2DC*. Pada hasil pemodelan 2D didapatkan struktur sesar naik di bawah permukaan pada kedalaman 210 meter hingga kedalaman 1000 meter. Adanya struktur sesar naik di bawah permukaan diduga akibat dari pergeseran batuan dari arah Timur laut target penelitian. Dilakukan pemodelan 3 dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak *UBCMag3D* untuk mengetahui struktur bawah permukaan lebih jelas dengan memasukkan nilai *error*, parameter nilai suseptibilitas dan kerapatan model. Pada hasil tampilan 3D struktur bawah permukaan ditemukan adanya perbedaan yang sangat kontras pada nilai suseptibilitas di kedalaman 225 meter hingga 1200 meter. Perbedaan nilai suseptibilitas tersebut diduga terdapatnya struktur sesar di bawah permukaan.

Kata kunci : Anomali medan magnet total, sesar, 2D, 3D, suseptibilitas

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki aktivitas vulkanik dan tektonik yang tinggi. Aktivitas vulkanik dan tektonik ini disebabkan oleh posisi dari gugusan kepulauan Indonesia yang berada di daerah pertemuan antar lempeng tektonik. Indonesia berada dalam daerah 3 lempeng tektonik yang bergerak aktif, yaitu lempeng Eurasia di Utara, lempeng Indo-Australia yang menunjam lempeng Eurasia dari Selatan, dan lempeng Pasifik yang menunjam lempeng Eurasia dari arah Timur. Akibat dari gerakan ketiga lempeng ini timbul tektonik lainnya seperti sesar^[1].

Metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Dalam metode ini didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi^[2]. Akuisisi pengukuran metode magnetik dan pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat^[3].

Penelitian dilakukan dengan metode magnetik di daerah Jatikurung oleh Fitria (2015). Pada penelitian, anomali medan magnetik terdapat di dekat mata air panas yang di indikasikan adanya struktur geologi berupa sesar di bawah permukaan, hal ini dibuktikan dengan pemodelan 2D. Pada kedalaman 326 m sampai 1200 m diperkirakan sebagai batuan penudung (*Cap rock*). Pada pemodelan juga ditemukan sesar turun yang telah diduga munculnya mata air panas Jatikurung^[4].

Pemodelan 3D akan mempermudah melihat posisi persebaran batuan-batuan bawah permukaan bumi lebih realistis dibandingkan model sayatan (model 2D). Namun, informasi dari setiap sayatan pada model 2D dan model geologinya cukup membantu dalam menginterpretasikan keadaan sesungguhnya. Jika pada model sayatan dilakukan sayatan

secara tegak lurus pada arah X dan Y untuk lebih jelas dalam menginterpretasikan model keseluruhan, maka pada model 3D dibuat sayatan tegak lurus arah Z agar informasi antar model bisa saling mendukung dan melengkapi.

Daerah Harjosari merupakan salah satu daerah yang menjadi lintasan jalan tol Semarang-Solo. Pada lintasan jalan tol ditemukan beberapa struktur geologi seperti gerakan tanah, *dip and strike*, sesar geser dan sesar naik. Penelitian ini dilakukan untuk melengkapi daerah zona lemah yang terjadi di sebelah Tenggara daerah penelitian. Pada penelitian sebelumnya diketahui terdapatnya zona sesar di sebelah Tenggara daerah penelitian berupa sesar geser berarah Barat Laut-Tenggara dan sesar naik berarah Timur Laut-Barat Daya^[5]. Pada penelitian ini daerah pengukuran mencakup sebagian daerah Kendalisodo dan daerah Harjosari..

DASAR TEORI

Metode Geomagnet

Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan *reservoir geothermal*. Dalam metode geomagnet didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan antar batuan di bawah permukaan bumi sehingga menimbulkan medan magnet yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik^[6].

Sesar

Sesar adalah rekahan dimana terjadi pergeseran massa batuan secara relatif satu bagian terhadap yang lainnya. Letaknya yang dahulu telah mengalami dislokasi atau perpindahan. Sesar terdiri dari berbagai macam bergantung dari penyebabnya, seperti kompresi, tarikan atau torsi^[7]. Biasanya sesar mengalami suatu pergeseran, pergerakannya ada yang naik, turun dan mendatar. Sesar ini

terjadi di sepanjang retakan pada kerak bumi yang terdapat *slip* yang berada di antara dua sisi yang berada pada sesar tersebut. Dalam klasifikasi sesar dipergunakan pergeseran relatif karena tidak tahu blok mana yang bergerak. Satu sisi sesar bergerak ke arah tertentu relatif terhadap sisi lainnya. Pergeseran salah satu melalui bidang sesar membuat salah satu blok relatif naik terhadap lainnya atau relatif turun terhadap lainnya. Blok diatas bidang sesar disebut *hanging wall* sedangkan yang dibawah *foot wall*. Berdasarkan kinematikanya, sesar dibedakan menjadi sesar normal (*extension fault*), sesar naik (*reverse fault* atau *thrust fault*) dan sesar mendatar (*strike-slip fault*).

Second Vertikal Derivative (SVD)

Analisis struktur menggunakan *second vertikal derivative* dapat digunakan untuk mendeteksi jenis struktur cekungan atau intrusi dan patahan turun atau patahan naik. Secara teoritis teknik *second vertikal derivative* diturunkan dari persamaan Laplace's untuk anomali medan magnet di permukaan. Menurut Elkins (1951) *second vertikal derivative* untuk patahan turun atau naik yaitu^[8]:

1. Untuk cekungan atau patahan turun berlaku:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta H}{\partial z^2}\right)_{\text{maks}} > \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta H}{\partial z^2}\right)_{\text{min}}\right| \quad (2.1)$$

2. Untuk cekungan atau patahan naik berlaku:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta H}{\partial z^2}\right)_{\text{maks}} < \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta H}{\partial z^2}\right)_{\text{min}}\right| \quad (2.2)$$

Prinsip Pemodelan Inversi 3 Dimensi

Metoda inversi merupakan cara yang digunakan untuk memperkirakan model respon magnetik yang paling cocok dengan data observasi. Untuk mencocokkan data tersebut dapat dinyatakan dengan fungsi objektif yang merupakan fungsi dari selisih antara teoritis dengan data observasi.

Setiap anomali magnetik yang diamati diatas permukaan dapat dievaluasi dengan menghitung proyeksi anomali medan magnet

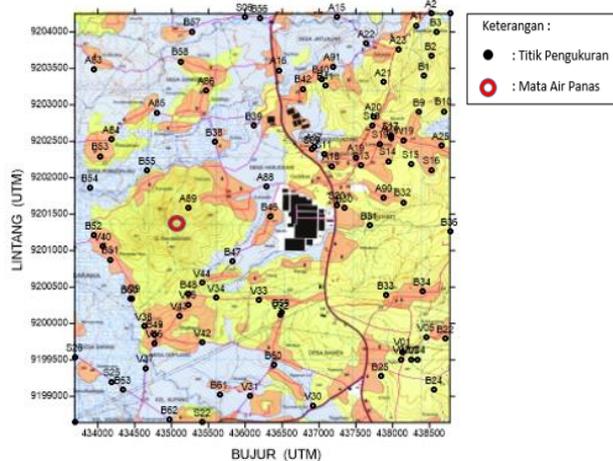
dari arah yang ditentukan. Sumber pada lokasi yang diteliti, di set kedalaman sebuah *cell ortogonal* berupa mesh 3D^[9]. Mesh 3D diasumsikan mempunyai suseptibilitas di dalam masing-masing *cell* dan magnetik remanen diabaikan. Anomali magnetik (ΔT) pada suatu lokasi dengan berhubungan dengan suseptibilitas (k) di bawah permukaan. Secara linier dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\Delta t = \underline{G}k \quad (2.3)$$

Dengan G merupakan matriks dengan ukuran $i \times j$, dengan i adalah jumlah data dan j adalah jumlah parameter model. Matriks G digunakan untuk memetakan suatu model dari data keseluruhan data pada proses inversi. Secara umum, inversi yang dilakukan pada medan anomali berbanding lurus terhadap variasi suseptibilitas pada skala linier^[10].

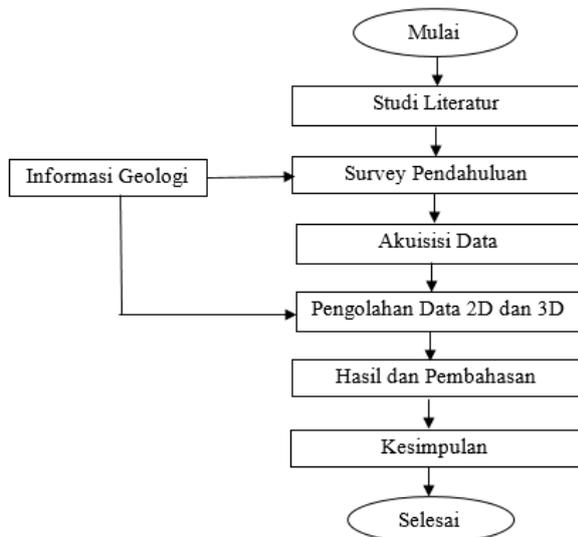
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, alat yang digunakan adalah PPM (*Proton Precision Magnetometer geometrics* GSM 19T, Geotron Magnetometer Model G5, GPS, kompas geologi, peta topografi, log data penelitian dan beberapa perangkat lunak seperti *mapsource*, *GEOpos*, *surfer 11*, *magpick*, *Mag2dc*, dan *UBCMag3d*. Pada penelitian ini berjumlah 93 titik ukur dengan 2 *base station* yang terletak di sekitar daerah Harjosari dan Kendalisodo dengan luas area 5,6 km x 5,7 km. Pengambilan data magnetik ini dilakukan dengan menghindari daerah pemukiman warga, dekat area listrik, jalan raya dan benda benda yang mengandung magnet seperti *handphone*, jam tangan, kendaraan dan sebagainya. *Design survey* titik pengukuran pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik pengukuran daerah Harjosari^[11]

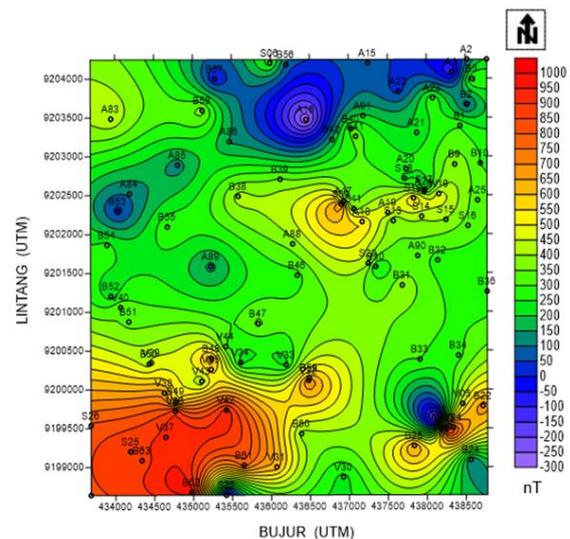
Langkah-langkah penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan survey pendahuluan yang mengacu pada informasi geologi. Selanjutnya dilakukan akuisisi data di lapangan sehingga didapatkan data berupa nilai medan magnet total. Data yang diperoleh dari lapangan tersebut kemudian diolah dan dimodelkan dalam bentuk 2D dan 3D yang mengacu pada informasi geologi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran nilai medan magnetik yang telah didapat dari lapangan merupakan nilai anomali magnetik yang masih terpengaruh dari dalam dan luar bumi. Oleh karena itu dilakukan dua koreksi untuk menghasilkan nilai anomali magnetik yang sudah tidak dipengaruhi oleh medan magnet dalam (koreksi IGRF) dan luar bumi (koreksi harian). Setelah melakukan koreksi tersebut, didapatkan hasil nilai anomali medan magnet yang merupakan target dari pengukuran metode magnetik yang dilakukan. Anomali medan magnet total digambarkan pada peta kontur anomali (Gambar 3) yaitu berupa *dipole* yang mengandung pasangan klosur positif dan negatif.

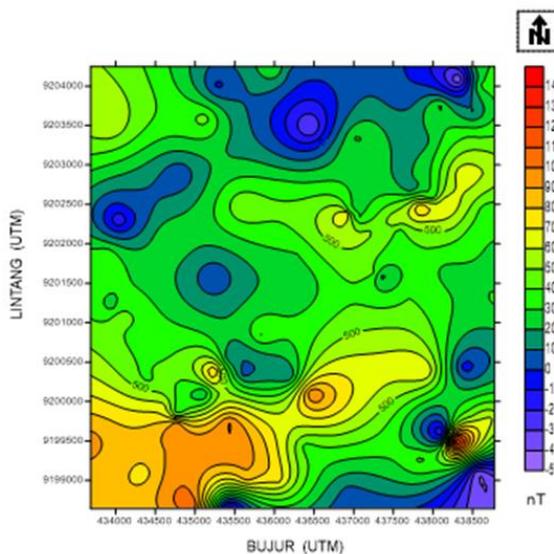


Gambar 3. Peta kontur anomali medan magnet total

Berdasarkan kontur anomali medan magnetik pada Gambar 3 dapat dilihat beberapa pasangan klosur positif dan negatif yang menunjukkan bahwa anomali medan magnet total masih dipengaruhi oleh anomali lokal di sekitarnya. Anomali yang diperoleh dari hasil pengukuran merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi.

Reduksi Bidang Datar

Hasil anomali medan magnet total masih berada pada topografi yang tidak rata, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 4 Metode yang digunakan untuk memproyeksikan data ke bidang datar adalah sumber ekuivalen.

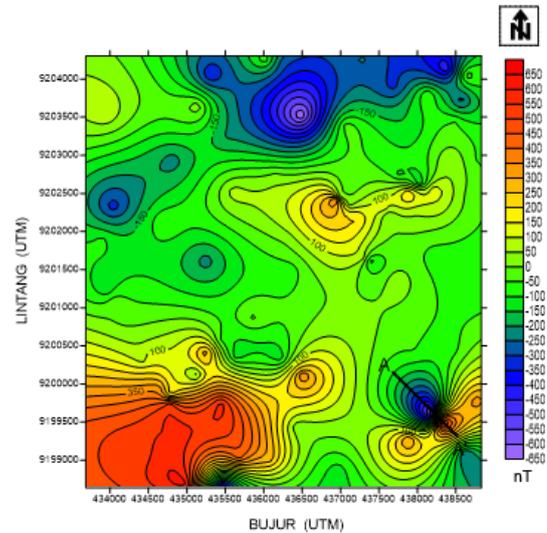


Gambar 4. Peta kontur anomali medan magnet pada bidang datar

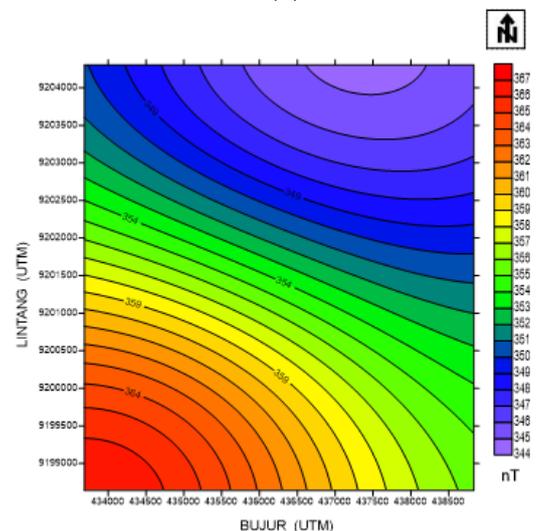
Hasil anomali medan magnet total yang telah di reduksi menunjukkan pasangan klosur positif dan negatif masih terlihat jelas. Dalam reduksi bidang datar ini dilakukan dengan menggunakan *Matlab 7.0* dengan ketinggian rata-rata topografi 540 m pada bidang *horizontal*.

Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Dilakukannya proses kontinuasi ke atas diharapkan dapat membantu memisahkan anomali regional dengan anomali lokal. Proses kontinuasi dengan uji *trial and error* dilakukan dengan melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuasi pada ketinggian tertentu.



(a)



(b)

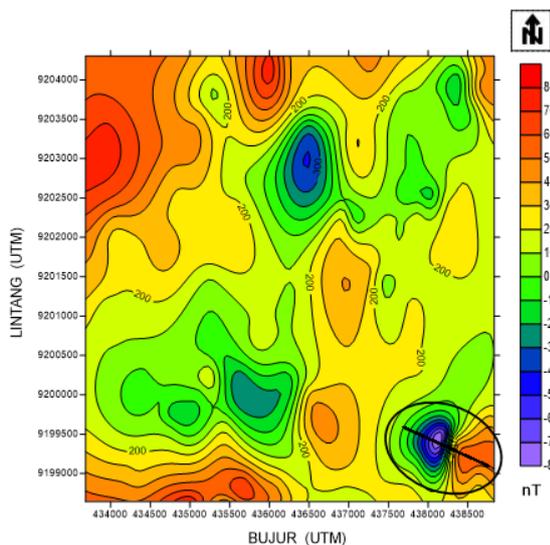
Gambar 5. Peta (a) kontur residual (b) kontur regional setelah dilakukan pengangkatan ke atas setinggi 5000 m.

Pada kontur hasil penelitian ini diperhalus dengan pengangkatan ke atas (*upward continuation*) setinggi 5000 m. Pengangkatan ke atas setinggi 5000 m dipilih karena pada nilai ini sudah cukup baik dalam memisahkan anomali lokal dan regionalnya. Dalam penelitian ini kontur residual digunakan sebagai kontur yang akan dilakukan pemodelan. Pada peta hasil kontur residual terlihat jelas anomali yang menjadi target pada

penelitian ditunjukkan pada sayatan pada Gambar 5 bagian a.

Reduksi ke Kutub

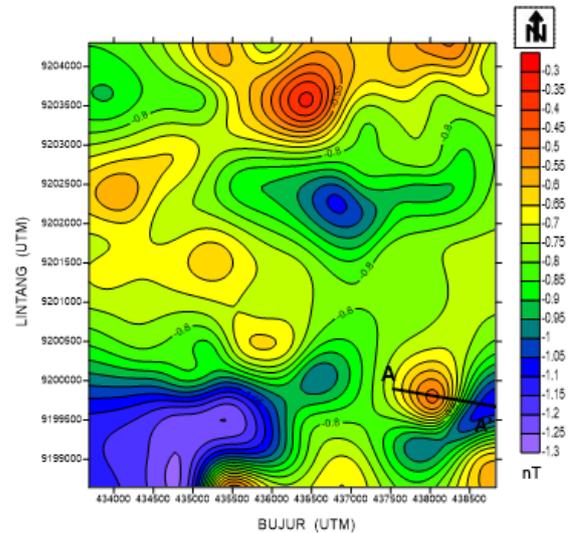
Data anomali medan magnet total yang sudah di *upward continuation* kemudian di reduksi ke kutub untuk mempermudah proses interpretasi, dimana hasil reduksi ke kutub anomali medan magnetik menunjukkan langsung posisi bendanya. Reduksi ke kutub adalah salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Gambar 6 menunjukkan hasil peta kontur anomali magnetik setelah di reduksi ke kutub.



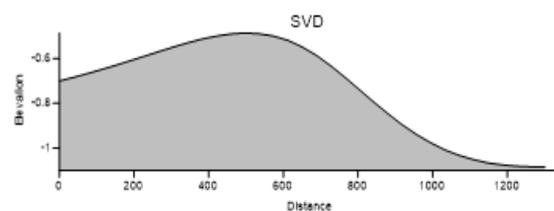
Gambar 6. Peta kontur anomali magnetik setelah di reduksi ke kutub

Second Vertical Derivative (SVD)

Analisa struktur menggunakan *second vertical derivative* dapat digunakan untuk mendeteksi jenis struktur cekungan atau intrusi dan patahan turun atau patahan naik. Hal ini dapat memberikan informasi yang lebih signifikan tentang jenis patahan yang terjadi pada target penelitian. Pada kontur SVD dilakukan sayatan yang mengarah Barat Laut-Tenggara yaitu A-A' (Gambar 7).



Gambar 7. Peta kontur anomali SVD



Gambar 8. Profile SVD

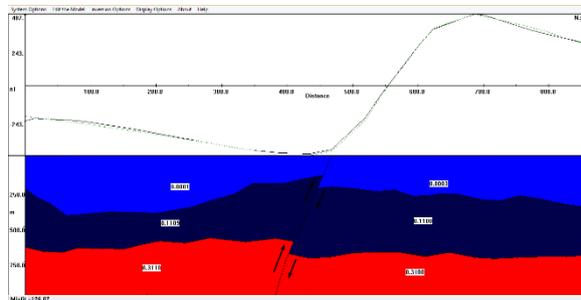
Hasil Gambar 8 sayatan yang mengarah A-A' dapat disimpulkan sebagai jenis patahan naik karena nilai SVD maksimumnya lebih kecil dari nilai SVD minimumnya. Hasil SVD yang diketahui berupa patahan naik pada target penelitian akan membantu dalam pembuatan pemodelan 2D dan interpretasi bawah permukaan.

Pemodelan 2D

Pemodelan 2D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Mag2dc* dengan memasukkan nilai parameter pada intensitas, inklinasi, deklinasi, kedalaman dan satuan yang digunakan dalam pembuatan pemodelan bawah permukaan tanah.

Pemodelan dengan sayatan diharapkan dapat menjelaskan struktur bawah permukaan yang diduga sebagai penyebab adanya anomali. Pada pemodelan ini dibuat sayatan A-A' yang berarah Barat Laut-Tenggara (peta kontur

anomali residual) dan disesuaikan dengan informasi geologi yang akan dilewati oleh sayatan.



Gambar 9. Hasil pemodelan pada sayatan A-A'

Pada hasil pemodelan yang ditampilkan pada Gambar 9 lapisan pertama terdiri dari 2 batuan dengan nilai suseptibilitas yang berbeda. Diketahui batuan pertama memiliki nilai suseptibilitas 0,0001 hingga pada kedalaman 420 m dari permukaan tanah. Pada batuan yang kedua memiliki nilai suseptibilitas 0,0003 hingga pada kedalaman 380 m. Batuan yang terdapat pada lapisan ini merupakan batuan breksi vulkanik yang termasuk dalam Formasi Kaligetas (Qpkg). Lapisan batuan ini didukung dengan adanya batuan yang muncul di permukaan daerah titik pengukuran.

Lapisan kedua terdiri dari 2 batuan dengan nilai suseptibilitas yang berbeda. Pada batuan pertama memiliki nilai suseptibilitas 0,1109 yang berada pada kedalaman 210 m hingga pada kedalaman 640 m. Batuan kedua memiliki nilai suseptibilitas 0,1100 dan berada pada kedalaman 280 m hingga pada kedalaman 750 m. Pada lapisan ini batuan pertama relatif naik terhadap batuan kedua yang menunjukkan patahan berupa sesar naik. Dalam lapisan ini terdapat batu pasir dan aliran lava yang termasuk dalam Formasi Kaligetas (Qpkg). Pada lapisan ketiga terdiri dari dua batuan dengan nilai suseptibilitas yang berbeda. Batuan pertama memiliki kedalaman 640 m hingga kedalaman 1000 m dengan nilai suseptibilitas batuan 0,3110. Batuan kedua memiliki kedalaman 750 m hingga kedalaman

1000 m di bawah permukaan dengan nilai suseptibilitas batuan 0,3100. Lapisan ketiga ini terlihat dalam pemodelan bahwa batuan relatif naik terhadap batuan kedua. Pada lapisan tersebut tampak jelas adanya patahan yang merupakan sesar naik yang berada diantara batuan pertama dan kedua dengan bidang naik di sebelah Barat Daya dan bagian turun di sebelah Timur Laut. Sesar yang muncul berarah Barat Daya–Timur Laut. Adanya sesar naik diduga disebabkan oleh sayatan pada target penelitian memotong sesar naik yang berada pada penelitian sebelumnya. Pada lapisan ini merupakan batu lempung yang termasuk dalam Formasi Kerek (Tmk).

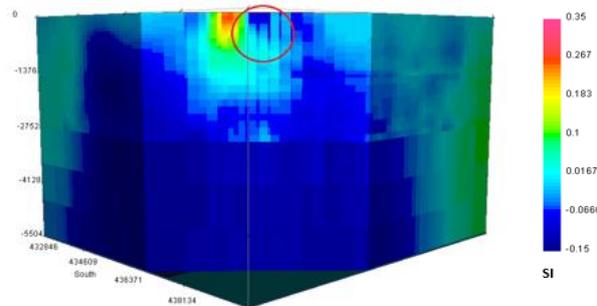
Sayatan yang dibuat dari pasangan klosur positif dan negatif pada target penelitian di dalam pemodelan ditemukannya sesar naik, dengan bagian yang naik di sebelah Barat Daya dan turun di bagian Timur Laut. Diduga terjadinya sesar pada lapisan batuan ketiga disebabkan oleh sesar naik yang terjadi di Timur Laut target penelitian berarah Timur Laut-Barat Daya

Pemodelan 3D

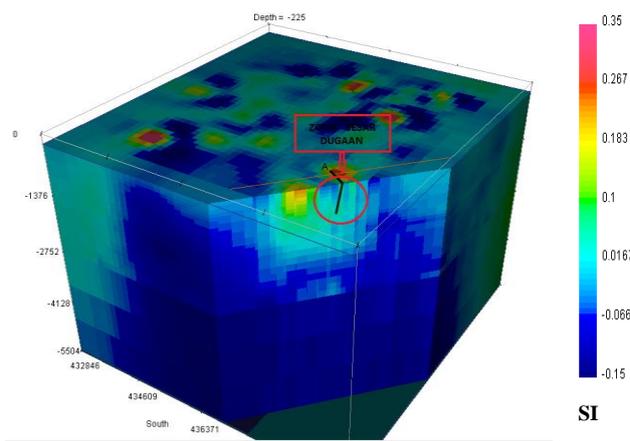
Pemodelan 3D pada penelitian ini dilakukan dengan pemodelan inversi menggunakan perangkat lunak *UBC Mag3D*. Dilakukannya pemodelan 3D untuk mengetahui struktur bawah permukaan lebih jelas. Hasil dari pemodelan 3D diharapkan nantinya dapat membantu dari hasil pemodelan 2D yang telah dilakukan. Pada pemodelan yang dilakukan memperkirakan nilai parameter *numeric model* berdasarkan data hasil observasi menggunakan model tertentu. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *UBC Mag3D* dengan memasukkan nilai *error*, parameter nilai suseptibilitas (*lower*, *upper*) dan kerapatan model (*cell*).

Model 3D data anomali medan magnet ditunjukkan dalam bentuk berupa sebuah balok dengan koordinat X, Y dan Z. Sumbu X merupakan bujur (UTM) dibagian selatan, sumbu Y merupakan lintang (UTM) dibagian barat, dan sumbu Z merupakan struktur

dibawah permukaan bumi atau kedalaman (meter). Nilai *colour scale* pada model 3D menggambarkan nilai suseptibilitas batuan pada daerah penelitian.



Gambar 10. Penampang kedalaman adanya perbedaan suseptibilitas



Gambar 11. Hasil slice kedalaman pada pemodelan 3D

Pada Gambar 10 dapat dilihat struktur bawah permukaan hingga pada kedalaman 2752 meter. Tampak kedalaman yang memotong sayatan A-A' terlihat kontras perbedaan nilai suseptibilitas dibawah permukaan. Adanya perbedaan nilai suseptibilitas di dalam permukaan terlihat berasal dari arah Tenggara, dimana pada daerah tersebut ditemukannya sesar naik pada penelitian struktur geologi jalan tol Semarang-Solo.

Pada Gambar 11 pemodelan dilakukan *slice* diagonal yang memotong sayatan A-A' untuk melihat struktur bawah permukaan lebih jelas. Pada pemodelan juga dilakukan *slice* secara *horizontal* dari permukaan hingga pada kedalaman 225 m agar mengetahui struktur sesar yang telah dilakukan pada model 2D. Pada pemodelan dapat dilihat pada kedalaman 225 m hingga 1200 m terdapat perbedaan kontras warna pada nilai suseptibilitas yang mengindikasikan adanya perbedaan struktur batuan di bawah permukaan. Adanya perbedaan struktur batuan tersebut diduga ada struktur sesar yang terdapat di bawah permukaan. Hal tersebut sesuai dengan hasil pemodelan 2D yang telah dilakukan, dimana ditemukannya struktur sesar naik dibawah permukaan (Gambar 9).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data magnetik, maka diperoleh kesimpulan:

1. Metode magnetik mampu mengidentifikasi adanya struktur bawah permukaan yang ditampilkan dalam pemodelan 2D dan 3D. Pada hasil pemodelan 2D diinterpretasikan adanya struktur bawah permukaan hingga kedalaman 1000 m. Pada hasil 3D terdapat adanya perbedaan kontras warna pada nilai suseptibilitas di kedalaman 225 m.
2. Pada pemodelan 2D diperlihatkan adanya struktur bawah permukaan berupa sesar naik dengan bagian yang naik sebelah Barat Daya dan turun bagian Timur Laut pada kedalaman 210 m hingga kedalaman 1000 m. Pada hasil pemodelan 3D ditampilkan struktur bawah permukaan dengan adanya perbedaan kontras warna pada nilai suseptibilitas di kedalaman 225 meter hingga 1200 m. Perbedaan nilai suseptibilitas tersebut diduga terdapatnya struktur sesar di bawah permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Blakely, R. J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- [2]. Broto, S. dan Thomas, T.P., 2011, Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panasbumi, *Jurnal Teknik*, Vol.32, No. 1, ISSN 0852-1697, hal. 79-87.
- [3]. Singarimbun, A., Cyrke, A. N. B. dan Riva, C. F., 2011, Penentuan Struktur Bawah Permukaan Area Panas Bumi Patuha dengan Menggunakan Metoda Magnetik, *Jurnal Matematika dan Sains*, Vol. 18, No.2, hal. 39-48.
- [4]. Fitria, L., 2015, Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Geomagnetik Pada Daerah Mata Air Panas Jatikurung Kabupaten Semarang, *Skripsi*, Semarang.
- [5]. Anonim., 2013, Peta Geologi Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Tahap I Ruas Semarang-Bawen, Trans Marga Jateng, Semarang.
- [6]. Santosa, B. J., Mashuri, Sutrisno, W. T., Wafi, A., Salim, R. dan Armi, R., 2012, Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, Vol. 2, No. 1, hal. 7-14.
- [7]. Santoso, D., (2002), *Vulkanologi dan Eksplorasi Geothermal*. Penerbit : Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8]. Elkins, T. A., 1951, *The Second Derivative Method of Gravity Interpretation*. Geophysics.
- [9]. Li, Y., Oldenburg, D. W., 1996, *3D Inversion of Magnetic Data*. Geophysics.
- [10]. Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E., 1990. *Applied Geophysics* 2nd edition, Cambridge University Press, London.
- [11]. BAKOSURTANAL, 1998, *Peta Rupa*

Bumi Digital Indonesia 1 : 25.000 Lembar 1408-542 Ungaran, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL), Bogor.